

## Celda alcalina abiótica de residuos de *Mangifera indica* L. cv "Haden"

### *Alkaline abiotic cell of Mangifera indica* L. cv "Haden" residues

Jorge Benjamín Díaz-López<sup>1\*</sup>, María Celina Luján-Hidalgo<sup>1</sup>,  
Arnulfo Rosales-Quintero<sup>1</sup> y Rocío Meza-Gordillo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. México

\*M20270382@tuxtla.tecnm.mx

### Resumen

Las celdas alcalinas abióticas generan electricidad a partir de la oxidación de compuestos orgánicos en presencia de una base fuerte. Una alternativa para la generación de electricidad es el uso de biomasa residual como combustible, ya que contiene carbohidratos susceptibles a oxidarse. En este proyecto se evaluó el efecto de la base fuerte (NaOH y KOH; 2, 4 y 6 M) y los sustratos (glucosa, almidón y residuo; 0.1, 0.2 y 0.3 g/mL), sobre el voltaje de salida del sistema. Se obtuvieron voltajes de salida en circuito abierto de  $1005.83 \pm 12$  mV y  $1048.33 \pm 10$  mV, durante 24 h usando glucosa y almidón, respectivamente; y de  $1038.55 \pm 4$  mV y  $970.63 \pm 12$  mV con tiempos de generación de energía eléctrica de 144 h con semilla y cáscara de *Mangifera indica* L. cv "Haden", lo que evidencia la factibilidad de uso de este residuo como sustrato para la generación de electrones.

### Palabras clave

Biomasa residual, carbohidratos, energía eléctrica.

### Abstract

Abiotic alkaline cells generate electricity from the oxidation of organic compounds in the presence of a strong base. An alternative for generating electricity is the use of residual biomass as fuel, since it contains carbohydrates susceptible to oxidation. In this project, the effect of the strong base (NaOH and KOH; 2, 4 and 6 M) and the substrates (glucose, starch and residue; 0.1, 0.2 and 0.3 g / mL), on the output voltage of the system was evaluated. Open circuit output voltages of  $1005.83 \pm 12$  mV and  $1048.33 \pm 10$  mV were obtained for 24 h using glucose and

starch, respectively; and of  $1038.55 \pm 4$  mV and  $970.63 \pm 12$  mV with electric power generation times of 144 h with seed and husk of *Mangifera indica* L. cv “Haden”, which shows the feasibility of using this residue as a substrate for the generation of electrons.

## Keywords

Carbohydrates, electrical energy, residual biomass.

## Introducción

El consumo global de energía eléctrica ha impulsado su investigación para una generación asequible, segura, sostenible y moderna (ONU, 2018).

Una alternativa, son las celdas alcalinas abióticas, dispositivos electroquímicos que transforman compuestos orgánicos en energía eléctrica, mediante el proceso de oxido-reducción; ofrecen características únicas, como la capacidad de operar a temperatura ambiente, biocompatibilidad, facilidad de miniaturización, menor huella ambiental y producción de energía de bajo costo (Yazdi *et al.*, 2017).

La cáscara y la semilla de *M. indica* L. cv “Haden” son consideradas residuos; estudios demuestran que son fuente de compuestos bioactivos (García *et al.*, 2015). Se ha encontrado que la cáscara constituye un 15-20% y la semilla entre 35-60% del peso total del mango (Jahurul *et al.*, 2015); la biomasa residual de *M. indica* L. cv “Haden” resulta de interés para evaluarse como combustible en una celda alcalina abiótica y así aprovechar la energía de su oxidación para generar electricidad.

Este proyecto tiene como objetivo la caracterización de un prototipo de celda alcalina abiótica oxidante de carbohidratos, a partir del residuo proveniente del procesamiento de *M. indica* L. cv “Haden”.

## Materiales y métodos

El residuo se obtuvo del procesamiento de *M. indica* L. cv “Haden” (harina de cáscara y semilla), proporcionado por CIATEJ-Unidad Mérida.

### Prototipo de celda en solución alcalina

La unidad experimental fue un recipiente de plástico (5 cm x 5 cm x 5 cm), con volumen total de reacción de 20 mL, se usó agua destilada como disolvente, un ánodo de carbono y cátodo de zinc con dimensiones 1 cm x 0.5 cm (Ansanay *et al.*, 2019). Se usó cables de cobre y pinzas caimán para las conexiones.

Las mediciones de voltaje de salida se realizaron en circuito abierto con un multímetro digital marca RADOX.

### Efecto de la base y el sustrato en el potencial eléctrico de la celda abiótica

Se utilizó un diseño factorial  $2^2$  definiendo como factores un sustrato puro (glucosa y almidón, 0.1 g/mL) y la base (NaOH y KOH, 1 M) y como variable de respuesta el voltaje de salida.

Todos los experimentos se hicieron por triplicado.

## Efecto de la concentración de la base y el sustrato en el potencial eléctrico de la celda abiótica

Una vez identificada la base y el sustrato con mejor desempeño, se evaluaron las concentraciones de ambos, utilizando un diseño factorial  $3^2$ . Para la base se usaron concentraciones de 2, 4 y 6 M; para el sustrato 0.1, 0.2 y 0.3 g/mL (Liu *et al.*, 2016; Provera *et al.*, 2016) y el voltaje de salida como variable de respuesta.

Todos los experimentos se hicieron por duplicado.

## Celda alcalina abiótica de residuos de *Mangifera indica* L. cv "Haden"

Con los resultados obtenidos en los experimentos anteriores, se usó el residuo de semilla, cáscara y una relación 1:1 de ambos sustratos a una concentración 0.3 g/mL, además de NaOH y KOH 6 M como base, utilizando un diseño factorial mixto  $3 \times 2$ . Además del voltaje de salida, se midió el tiempo de producción de energía eléctrica (Figura 1).

### Figura 1.

Diseño factorial mixto  $3 \times 2$

| Base fuerte | Residuo         |
|-------------|-----------------|
| KOH         | Semilla         |
|             | Cáscara         |
|             | Semilla/Cáscara |
| NaOH        | Semilla         |
|             | Cáscara         |
|             | Semilla/Cáscara |

Nota: todos los experimentos se hicieron por duplicado.

## Resultados y discusión

Mediante el análisis de los resultados provenientes del diseño factorial  $2^2$  en donde se usó glucosa, almidón, NaOH y KOH a una sola concentración (Figura 2), se comprobó el efecto del tipo de sustrato y base fuerte en este tipo de configuraciones, se identificó que existe diferencia significativa entre el uso de almidón y glucosa, obteniendo un mayor voltaje de salida para el almidón ( $1048.33 \pm 24$  mV).

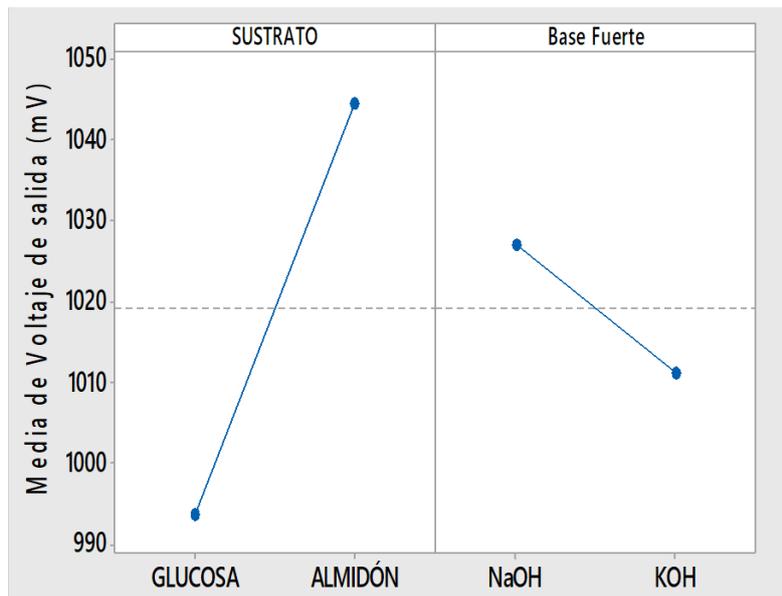
Los resultados se atribuyen a que la glucosa es una aldosa monomérica con un carbono anomérico disponible para oxidación (Campbell *et al.*, 2007), al transcurrir el tiempo, ésta se va consumiendo hasta agotarse, limitando su disponibilidad; sin embargo, el almidón es un polímero con enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4 y 1,6 de glucosa (Rivera-Arredondo *et al.*, 2020), que en las condiciones establecidas de la base fuerte produce una hidrólisis, separando unidades de glucosa a partir del extremo no reductor de la cadena, por lo tanto, existe disponibilidad gradual de la glucosa, teniendo la presencia constante de electrones en el medio.

El factor base fuerte, en el que se evaluó el uso de NaOH y KOH, no presentó diferencia significativa entre ellos, sin embargo, se eligió NaOH por su mayor accesibilidad y menor costo.

Los resultados demostraron que la unidad experimental cumplía con el objetivo de generación de energía eléctrica a partir de la oxidación tanto de la glucosa y el almidón.

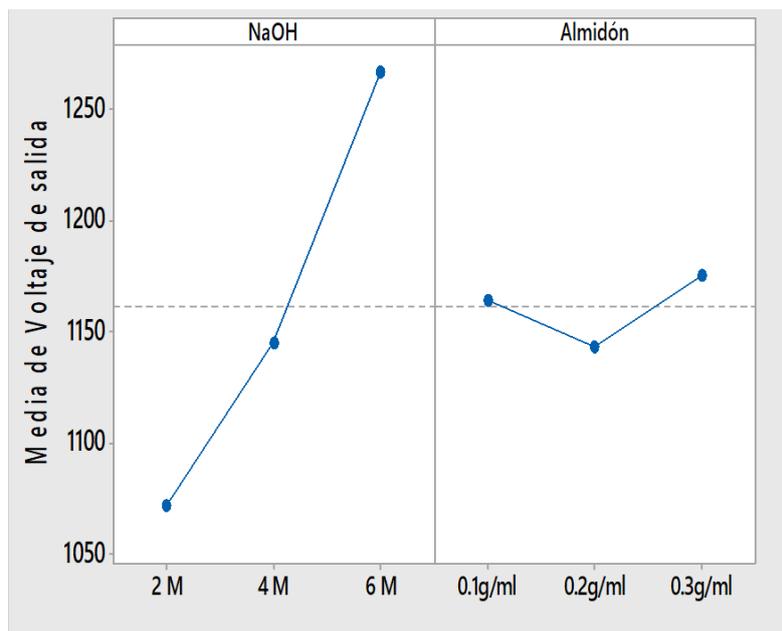
**Figura 2.**

Gráfica de efectos principales del diseño de experimentos  $2^2$



**Figura 3.**

Gráfica de efectos principales del diseño de experimentos  $3^2$



En la determinación del efecto de las concentraciones de NaOH y almidón, el análisis del diseño factorial  $3^2$  (Figura 3).

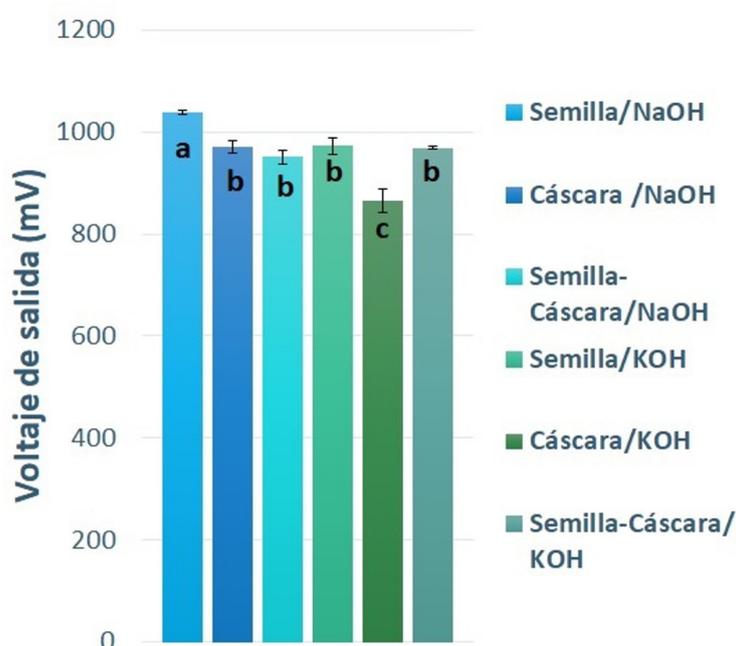
Se determinó que existe diferencia significativa en las concentraciones de NaOH, observando que al aumentar de la concentración de NaOH, incrementa el voltaje de salida, por lo tanto, puede reducir la resistencia en la celda. Así que, la concentración más alta de NaOH aumenta

la conductividad del electrolito, al igual que suministra más iones OH, los cuales son necesarios para la reacción de oxidación, y así poder aprovechar nuestro sustrato para la generación de energía eléctrica. Se comprobó que 6 M de NaOH fue la concentración que generó el mayor voltaje de salida.

Sin embargo, en el análisis de la concentración de almidón, el diseño de experimento no determinó que exista una diferencia significativa entre el uso de 0.1, 0.2, 0.3 g/ml de almidón; asimismo, se observó un mayor voltaje de salida usando 6 M de NaOH y 0.3 g/mL, el cual fue de  $1267.5 \pm 10$  mV.

#### Figura 4.

Gráfica de la celda de residuo de cáscara y semilla de *M. indica* L. cv “Haden” en NaOH vs KOH (P < 0.05, Prueba de Tukey)



Los resultados obtenidos en el diseño factorial mixto y graficados en la figura 4, utilizando los residuos de cáscara y semilla de *M. indica* L. cv “Haden” con NaOH y KOH, señalan que existe una diferencia estadística significativa en el factor sustrato, obteniendo un mejor voltaje de salida al usar el residuo de semilla. Estos resultados son atribuibles al alto contenido de ácidos orgánicos y carbohidratos de la semilla de *M. indica* L. cv “Haden” (Vera *et al.*, 2021).

En el factor base fuerte se encontró diferencia significativa entre el uso de NaOH y KOH, teniendo mejor variable de respuesta con el uso de NaOH, así se establece que la mejor configuración de la celda se obtuvo al usar NaOH con semilla de *M. indica* L. cv “Haden”, generando un voltaje de salida de  $1038.55 \pm 14$  mV; además, se observó un mayor tiempo de generación de energía eléctrica (144 h), en comparación con los sustratos puros.

### Conclusiones

Se ha demostrado un enfoque alternativo para producir energía eléctrica a partir de una celda alcalina abiótica con residuos de semilla y cáscara de *M. indica* L. cv “Haden”, promoviendo su oxidación en presencia de una base fuerte.

Se estableció que en concentraciones altas de la base fuerte (6 M) y con residuos de la semilla se genera voltaje de salida en circuito abierto igual a lo obtenido en la celda alcalina con glucosa como sustrato; sin embargo, el tiempo de generación de energía eléctrica es mayor.

El proceso utiliza materiales que son abundantes y económicos, y la celda es fácil de ensamblar y operar; sin embargo, es necesario conocer qué estructuras orgánicas susceptibles de oxidación están presentes en el residuo, que están generando el flujo de electrones observado.

### Fuente de financiamiento

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Beca otorgada febrero 2020- enero 2023).

### Referencias

- Ansanay, Y. O., Walilo, A. y Togibasa, O. (2019). Novelty potency of utilizing local betel nut (Areca catechu) of papua as a bio-battery to produce electricity. *International Journal of Renewable Energy Research*, 9(2), 667-672.
- Campbell, Neil A. y Reece, Jane B. (2007). *Biología*. Médica Panamericana.
- Rivera-Arredondo, M., Rodríguez-Ángeles, M., Morales-Félix, M. A. y Gaytán-Ruelas, M. (2020). Comparative characterization of starch biopolymers extracted from cereals using two different techniques. *Revista de Innovación Sistemática*, 4(15), 31-36.
- García-Mendoza, M. P., Paula, J. T., Paviani, L. C., Cabral, F. A. y Martínez-Correa, H. A. (2015). Extracts from mango peel by-product obtained by supercritical CO<sub>2</sub> and pressurized solvent processes. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1), 131–137.
- Jahurul, M.H., Zaidul, I.S., Ghafoor, K., Al-Juhaimi, F.Y., Nyam, K.L., Norulaini, N.A., Sahena, F. y Mohd Omar, A.K. (2015). Mango (*Mangifera indica* L.) by-products and their valuable components: A review. *Food Chemistry*, 183, 173–180.
- Liu, X., Li, Z., Yang, Y., Liu, P. y Zhang, P. (2016). Electricity generation from a refuelable glucose alkaline fuel cell with a methyl viologen-immobilized activated carbon anode. *Electrochimica Acta*, 222, 1430–1437.
- Organización de las Naciones Unidas (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe* (LC/G.2681-P/Rev.3).
- Provera, M., Han, Z., Liaw, B. Y. y Su, W. W. (2016). Communication—Electrochemical Power Generation from Culled Papaya Fruits. *Journal of The Electrochemical Society*, 163(7), A1457.
- Vera Mora, W. F. (2021). *Análisis físico químico del mango*. Universidad Técnica de Machala.
- Yazdi, A. A., Preite, R., Milton, R. D., Hickey, D. P., Minter, S. D. y Xu, J. (2017). Rechargeable membraneless glucose biobattery: Towards solid-state cathodes for implantable enzymatic devices. *Journal of Power Sources*, 343, 103-108.